

【原著論文】

## 理科における「動的平衡」概念に関わる生徒の思考の段階

森 健一郎\*1・角屋 重樹\*2・稲田 結美\*2・雲財 寛\*2

\*1 日本体育大学大学院教育学研究科博士後期課程

\*2 日本体育大学

本研究は、生徒が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、次のような3つの段階があることを検証することが目的である。3つの段階とは、(I) 現象を要素に分けることに気づく、(II) 「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、(III) 「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、である。このことを検証するために、3つの段階が明確になるような調査問題を工夫、作成、実施した。調査問題は、「動的平衡」概念によって説明が可能な現象3種で構成し、生徒はそれぞれが生じる理由を記述するという形式であった。そして、調査問題の生徒の記述を評価基準によって分類した。その結果、3種の設問に対する(I)～(III)の人数分布が異なった。この結果から、生徒の思考に段階があることが確認できた。そして、3つの段階のうち、(I) 現象を要素に分けることに気づく、という段階がもっとも困難であることが推察できた。この結果は、「動的平衡」概念を生徒に理解させるためには、対象とする現象に関する要素である「2つの逆向きの作用」や「均衡」といった要素に気づきやすい事象を扱い、段階的に気づきにくい対象に移行していくような系統的で組織的な指導が可能になることを意味している。

キーワード：動的平衡，科学的概念，逆向きの作用，均衡

## Students' Stages of Thought Related to the Scientific Concept of Dynamic Equilibrium

Kenichiro MORI\*<sup>1</sup>, Shigeki KADOYA\*<sup>2</sup>, Yumi INADA\*<sup>2</sup>, Hiroshi UNZAI\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Graduate Student of Doctor Course, Graduate School of Education,  
Nippon Sport Science University

\*<sup>2</sup> Nippon Sport Science University

The purpose of this study is to verify the three stages of students' thinking about phenomena involved in "dynamic equilibrium," that is, noticing (I) the classification of phenomena into elements, (II) the existence of "two opposite actions," and (III) the fact that the two opposite actions are in "equilibrium." Accordingly, we designed and implemented a questionnaire to clarify the three stages of students' thinking about the phenomena involved in dynamic equilibrium. The questions were on three types of phenomena that could be described by the scientific concept of dynamic equilibrium, and students were asked to describe each type of phenomena. The students' descriptions were classified according to some evaluation criteria. Consequently, students were unevenly distributed across stages (I) to (III). The results revealed that the students' thinking had different stages. Among these stages, the most difficult stage was found to be (I) noticing the classification of phenomena into elements. This result suggests that while using the scientific concept of dynamic equilibrium in instruction, teachers should first mention the events that are easy to notice among the elements of the phenomenon, such as the two opposite actions and equilibrium; subsequently, teachers should explain the objects that are hard to notice in a step-by-step manner to ensure systematic instruction.

**Key Words:** dynamic equilibrium, scientific concept, opposite action, equilibrium

## 1. 序論

理科教育の研究分野では、「基本的科学概念とは何か」についての討議が繰り返しながら進んでいる(皆川, 1997)。概念によって記憶が体制化され、処理・検索が容易になることは、認知心理学の立場からも指摘されている(ガニエほか, 1989)。また、科学概念を教授する際、科学概念は事例と共に提示されることが一般的であると推察されるものの、複数の提示事例や例題を通して学習することで一般化可能性が高まると指摘されている(Sweller & Cooper, 1985)。さらに、領域を越えた学習が教育の中心的な目標であることも主張されている(Bransford & Schwartz, 1999; Bransford et al., 2000)。

これらの知見は、理科カリキュラムの作成にも生かされており、例えば、日本の学習指導要領では、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」といった「科学の基本的な概念」<sup>1)</sup>(文部科学省, 2008・2009)と、「物理」「化学」「生物」「地学」の各領域が明確に対応づけられている。また、アメリカで2012年に公開されたフレームワーク(A Framework for K-12 Science Education: Practices, Cross-Cutting Concepts, and Core Idea; 以後フレームワークと記載)(National Research Council, 2012)では、数学・物理・化学・生物といった伝統的な自然科学の領域とは別に、領域を横断的に捉える「7つの横断的概念」<sup>2)</sup>が示されている。これを契機として、領域を横断して潜在化している科学概念を、生徒に意識的に捉えさせるための支援の重要性が指摘されるようになってきた(Day & Goldstone, 2012; Schwartz & Goldstone, 2016)。

領域を横断的に捉える科学概念には、前述の「7つの横断的概念」をはじめとしてさまざまなものが考えられる。中でも「動的平衡」については、1950年代以降<sup>3)</sup>、科学における「共通の認識と用語」として用いられるようになったことが、江上(2003)によって、科学史の文脈から指摘されている。

このことを踏まえ、「動的平衡」が領域横断的な科学概念として有効ではないかと考えた。ここで、「動的平衡」とは、「ある反応や運動について、逆

向きの反応や運動が同時に起こっているために、見かけ上は何も起こっていないように見える現象」を指す。例えば、常温における水の表面を考えたとき、その表面では一見何も変化が起こっていないように見えるが、実際は、「気体の水(水蒸気)から液体の水への変化」と「液体の水から気体の水(水蒸気)への変化」が同じ速度<sup>4)</sup>で進んでおり、これら2つの要素が「均衡」しているため、「動的平衡」によって解釈することができる。

前述の例は化学領域に含まれるものであるが、この概念によって説明できる現象は多様であり、生物領域における「恒常性概念」も「動的平衡」によって説明されることがあり<sup>5)</sup>、さらに、物理領域における「定常状態」も「動的平衡」によって説明されることがある<sup>6)</sup>。これらの例は、いずれも、「2つの逆向きの作用」「均衡」といった下位概念に着目することで説明可能である。そして、複数の現象に対し共通の説明を可能にする概念であることから、「動的平衡」を領域横断的な科学概念として活用できることが推察される<sup>7)</sup>。

ただし、領域横断的な科学概念の役割や、生徒が領域横断的な概念についての思考をどのように構築していくのかについては、ほとんどまとまった知識が存在しないのが現状であると指摘されている(Sarah et al., 2019a)。したがって、領域横断的な概念の一つである「動的平衡」の理科カリキュラムへの導入を検討するにあたっては、まず、この概念を生徒がどのように捉えるのか、あるいはこの概念の理解が可能であるのかを明らかにすることが必要である。

なお、理科の領域横断についてはこれまで、科学の基本的な概念ではなく、問題解決のためのスキルが着目されてきた(森, 2020)。例えば、小学校第3学年では、図1のように「比較する」というスキル<sup>8)</sup>が、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」のいずれの領域の学習活動の中でも重視されている(文部科学省, 2018a・2018b)。このことから理科カリキュラムへの「動的平衡」の導入を検討することには意義がある。

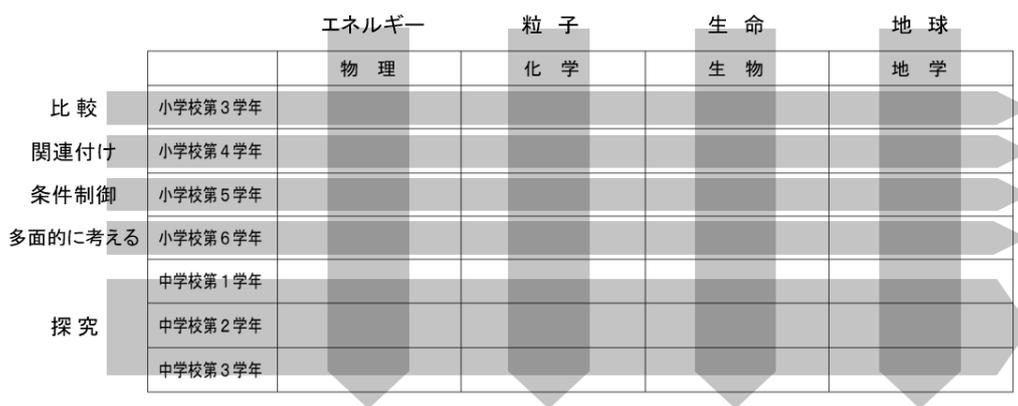


図1 「問題解決のためのスキル」と「科学の基本的な概念」との関係 \*筆者作成

## 2. 先行研究とそれを踏まえた仮説

### 2.1 先行研究における「動的平衡」

本研究のテーマに関連する先行研究の調査対象としては、科学的概念を領域横断的な視点から捉えた研究が該当する。例えば、物理・化学・生物・地学といった伝統的な領域、そして生命科学、工学などの領域などがあり、幅広く研究が展開されている。その内容も多岐に渡り、具体例としては、学習目標としての活用(Jacobson & Wilensky, 2006)、初学者と専門家の理解の比較(Hmelo-Silver & Pfeffer, 2004)、評価する方法(Brandstädter et al., 2012)、科学的概念を構成する下位概念(Sarah et al., 2019b)などについての研究が挙げられる。本研究においては、生徒が領域横断的な概念を構築していく実態を明らかにするため、「動的平衡」概念を構成する下位概念に着目し調査をおこなった。

調査対象は、国内外の理科教育に係る主要学術誌である。具体的には、『理科教育学研究』の1999年 Vol.40 No.1～2020年 Vol.60 No.3、『日本教科教育学会誌』の1976年 Vol.1 No.1～2020年 Vol.42 No.4、『科学教育研究』の1977年 Vol.1～2020年 Vol.44 No.1の目次および抄録を直接確認した。その他の国内の学術誌についてもCiNii(NII学術情報ナビゲータ)およびJ-STAGE(JST科学技術情報発信・流通総合システム)によって「理科、授業、概念、横断」などのキーワードを組み合わせた検索をおこなった。加えて、海外学術誌“*Journal of Research in Science Teaching*”の1997年 Vol.34 Issue 1～2020年 Vol.57 Issue 5、および

“*Science Education*”の1997年 Vol.81 Issue 1～2020年 Vol.104 Issue 3, “*International Journal of Science Education*”の1987年 Vol.1～2020年 Vol.42 Issue 4についても調査をおこなった。その他の海外学術誌についてもScopus, Science Direct(共にElsevierが提供する論文抄録・引用文献データベース), Wiley Online Library(Wileyが提供する論文抄録・引用文献データベース)によって「cross cutting, cross cutting concepts, dynamic equilibrium」などのキーワードを組み合わせた検索をおこなった。

調査の結果、高校生の化学という限定された領域の研究(Maskill & Cachapuz, 1989)ではあるが、「動的平衡」を「静的な均衡」、「物理的な動きとしての反転」、「すべてのものが等しいときの平衡」といった下位概念に分けて扱うことが学習内容の理解に効果的であると指摘されていた。ただし、この研究では「効果的である」との指摘がなされているのみであり、生徒がどのようにこの概念の理解を深めていくのか、そして教師がこの概念をどのように指導に活用していくのか、といった視点からの言及はなされていない。「具体的な場面に基づいた継続的な語句の活用により、生徒は横断的な概念を用いて、領域を横断した理解ができる可能性がある」(Fick, 2018; Goldstone & Wilensky, 2008)ことから、「静的な均衡」、「物理的な動きとしての反転」、「すべてのものが等しいときの平衡」といった複数の下位概念を教師が継続的に活用することで、生徒の「動的平衡」概念の活用につながるのではないかと考えた。

## 2.2 「動的平衡」概念を捉えるまでの思考の段階

生徒がどのようにこの概念の理解を深めていくのか、そしてそのためにはどのような指導が可能であるのか、これらの要請に応えるために、生徒の思考についての仮説を設定した。

先行研究の調査結果から、「動的平衡」を「静的な均衡」、「物理的な動きとしての反転」、「すべてのものが等しいときの平衡」といった複数の下位概念に分けて扱うことの有効性が示されている。そして、複数の下位概念があることから、これらは一度に理解されるばかりではなく、段階的に理解されることもありうると思われ。

本研究においては、「動的平衡」を小学校・中学校の理科カリキュラムで扱うことを考慮し、先行研究によって提示されていた複数の下位概念を「2つの逆向きの作用」「均衡」といった2つに整理し、(I) 現象を要素に分けることに気づく、(II) 「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、(III) 「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、の3つの段階を仮定した<sup>9)</sup>。

これを踏まえ、研究目的を次のように設定した。

### 3. 研究目的

本研究の目的は、生徒が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、次のような思考の段階があることの検証である。ここでの思考の段階とは、

- (I) 現象を要素に分けることに気づく、
- (II) 「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、
- (III) 「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、の3つである。

### 4. 研究の方法

生徒が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、その思考に段階があるかどうかを検証するため、3つの段階が明確になるような調査問題を作成した。調査問題は、「動的平衡」概念によって説明が可能な現象3種で構成し、生徒はそれぞれが生じる理由を記述するという形式である。

調査対象は、北海道内の公立中学校1年生2クラス59名である。調査問題は、小学校理科の確認というかたちで、年度当初のオリエンテーションの一部として2020年4月に実施した。調査に際しては、実施する2クラスを担当する理科専科の教員(経験年数23年)に対し、本研究の目的を説明し、調査問題の内容およびその評価基準について打ち合わせをおこなった。

提示する文章の構造は、前述の(I)～(III)の段階と整合するように、表1のように問題ごとに異なるものとした<sup>10)</sup>。問①の文章<sup>11)</sup>は、「大雨」「日照り」といった「2つの逆向きの作用」の要素を示唆する表現、そして「変化しない」といった「均衡」を示唆する表現が含まれている。問題②には「しめっている」「乾き」といった「2つの逆向きの作用」の要素を示唆する表現が含まれているが、「均衡」を示唆する表現は含まれていない。問題③は、「2つの逆向きの作用」や「均衡」を示唆する表現が含まれていない。これら3つの問題で扱った現象は、どれも小学校の理科教科書に掲載されている現象であり、かつその文章表現も教科書の一般的な記述を踏襲した。なお、実際に生徒に問題として示したときの文章に下線や波線は付していない。また、問題は①、②、③の順番で出題され、すべて「見かけ上は何も起こっていないように見える現象」であると類推して答える可能性も考慮した。

実施後、調査問題の生徒の記述を評価基準によって分類した。評価基準は、「動的平衡」についての思考の段階を顕在化させるために、「2つの逆向きの作用」と「均衡」に着目し、その有無によって段階的な水準A～Cを設けた(表2)。Aが「現象を『2つの逆向きの作用』と『均衡』といった下位概念に分けて記述しているもの」、Bが「現象を構成する下位概念である『2つの逆向きの作用』と『均衡』のどちらかに着目して記述しているもの」、Cが「現象を下位概念に分けた記述になっていない、または、記述そのものがなされていないもの」である。

表 1 調査問題の内容

	問題文
問題①	湖の水面の高さは大雨や日照りのとき以外は、年間を通してほとんど変化しません。その理由を書いてください。(小学校第6学年生物領域)
問題②	空気がしめっているとき、洗たく物が乾きにくい理由を書いてください。(小学校第4学年地学領域)
問題③	食塩が水に溶ける量には限度があります。その理由を書いてください。(小学校化学第5学年化学領域)

※生徒に提示した文章に下線は付されていない。

表 2 記述問題の評価基準

評価基準		A	B	C
評価基準		「2つの逆向きの作用」を構成している要素の両方について記述し、さらにそれらが「均衡」していることも記述している。	「2つの逆向きの作用」を構成している要素のどちらかを記述している。 または、「2つの逆向きの作用」と「均衡」のどちらかの下位概念について記述している。	「2つの逆向きの作用」を構成している要素についての記述がみられない。 または、「2つの逆向きの作用」と「均衡」のどちらについても記述がない。 または、記述がそのものがなされていない。
見られた解答の例	問題①	<ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸発したとしても、降ってくる水とのバランスがとれているから。</li> <li>・水の出ている量と入ってくる量が同じだから。</li> <li>・増水と減水のバランスがとれているから。</li> <li>・降る水と蒸発がいっしょ。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸発してもその分また戻ってくるから。</li> <li>・水が蒸発するが、また雨が降ってくるから。</li> <li>・蒸発する水と降ってくる水がある。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・蒸発しても土の中から少しずつ流れてくるから。</li> <li>・常に蒸気があるから。</li> <li>・水が蒸発しないから。</li> </ul>
	問題②	<ul style="list-style-type: none"> <li>・洗たく物がかわいても、空気中の水がついてしまうから。</li> <li>・せんたくものにたくさん水がついているし、空気にも水がたくさんあるから。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・空気中の水分がもともと多くて、せんたくものの水分が逃げにくいから。</li> <li>・まわりの空気がカラカラじゃないから。</li> <li>・もう水じょうきがあつて、行くところがないから。</li> <li>・水が出てまた戻ってくるから。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・人はのどがかわいているときは、水がほしくなるから、空気も同じだと思う。</li> <li>・せんたく物は晴れの方がかわきやすい。</li> <li>・テレビで雨の日はせんたくものがかわきにくいと聞いていたから。</li> </ul>
	問題③	—	—	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水に溶ける量は決まっているから。</li> <li>・あたためないと溶けないから。</li> <li>・水そうの水がほっといたらなくなるから。</li> </ul>

表 3 調査問題の解答を評価した結果 (N=59)

	問題文	A	B	C
問題①	湖の水面の高さは大雨や日照りのとき以外は、年間を通してほとんど変化しません。その理由を書いてください。	40	5	14
問題②	空気がしめっているとき、洗たく物が乾きにくい理由を書いてください。	2	47	10
問題③	食塩が水に溶ける量には限度があります。その理由を書いてください。	0	0	59

5. 結果および考察

実際の調査の結果を、問題①～③ごとに、A～Cの評価基準によって分類した。分類にあたっては、

評価基準を用いたものの、判断に迷う記述も見られたため、授業を実施した教員にも加わってもらい、授業の際の生徒のコメントなども考慮して判

断をした。

分類の結果、その分布は表 3 のようであり、A～C 各基準の生徒の人数は、問題ごとに顕著な違いが見られた。

これらの問題はどれも小学校の理科教科書に記載されている現象であり、現象自体は生徒にとって既知のものであるが、問題によって文章の構造が異なっている。

問題①についての分布では、8 割近くの生徒が A 評価であった。下位概念が 2 つとも示唆されている文章に対しては、8 割近くの生徒が思考の段階の (III) 『2 つの逆向きの作用』が『均衡』していることに気づく』に分類された。しかし、その一方で、下位概念が 2 つとも示唆されていても、(II) 『2 つの逆向きの作用』の存在に気づく』にとどまっている生徒もみられた (B 評価)。また、(I) の「現象を要素に分けることに気づく」段階にも至っていない生徒もみられた (C 評価)。

問題②についての分布では、8 割以上の生徒が B 評価であった。2 つの下位概念の片方しか示唆されていない文章に対しては、8 割以上の生徒が思考の段階の (II) 『2 つの逆向きの作用』の存在に気づく』に分類された。このような文章に対しては、片方の下位概念しか示唆されていなくても、もう片方の下位概念を類推して (III) の『2 つの逆向きの作用』が『均衡』していることに気づく』に至ることが期待されるが、そのような生徒はごくわずかであった (A 評価)。逆に、2 つの下位概念のうちの片方が示されたとしても、全く異なる解答を記述したり、解答そのものが記述できない生徒も若干名おり (C 評価)、そのような生徒は (I) の「現象を要素に分けることに気づく」段階にも至っていないと推察された。

「動的平衡」概念の理解とは、最終的に問題③のように、ある現象において「2 つの逆向きの作用」が示唆されていない場合でも、現象の中の要素として「2 つの逆向きの作用」を見出し、それらが「均衡」している状態を捉えられるようになることである。問題③についての分布では全員が C 評価であった。どの問題も「見かけ上は何も起

こっていないように見える」という点が共通しているため、要素の存在を類推して (II) の『2 つの逆向きの作用』の存在に気づく』、または 2 つの下位概念に着目し、(III) の『2 つの逆向きの作用』が『均衡』していることに気づく』に至っていると期待されたが、そのような生徒は見られず、全員が C 評価であった。このことから、要素や下位概念<sup>12)</sup>を示唆する表現が含まれていない文章については、思考の段階の (I) に至っていない、つまり、現象を要素に分けることに気づいていないといえる。

全体としては、問題の文章表現によって見いだせる要素や下位概念の種類が顕著に異なり、場合によっては見いだすこと自体ができないという結果であった。「動的平衡」概念による現象の理解が「できる／できない」といった二者択一であれば、このような設問ごとの評価分布は生じないと考えられる。

## 6. 結論

### 6.1 本研究の結論

本研究の目的は、生徒が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、思考の段階があることの検証であった。ここでの思考の段階とは、

- (I) 現象を要素に分けることに気づく、
- (II) 「2 つの逆向きの作用」の存在に気づく、
- (III) 「2 つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、の 3 つである。

調査問題の結果を表 3 のようにまとめたところ、3 種の設問に対する (I) ～ (III) の人数分布が顕著に異なっていることが確認された。これより、生徒が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、その思考には段階があることが確認できた。そして、3 つの段階のうち、(I) 現象を要素に分けることに気づく、という段階がもっとも困難であると推察できた。

### 6.2 学習指導のための示唆

前述のように、Sweller & Cooper (1985) は、科学概念を教授する際、複数の事例を通して学習す

ることが般化可能性を高めると指摘している。この指摘と、本研究で確認した「動的平衡」概念の思考の段階を踏まえ、次のような指導計画の骨子を提示したい。

- ・まず、「動的平衡」の下位概念である「2つの逆向きの作用」や「均衡」に気づきやすい現象を扱う。
- ・そして、そこから気づきにくい対象に段階的に移行していく。その際、動きのない現象を見たときに、それを「止まったもの」と捉えるのではなく、『2つの逆向きの作用』が『均衡』しているのではないかといいた気づきができるかどうかを重点としておく。
- ・最終的には、要素や下位概念の存在を示唆しないような文章であっても、「現象を要素に分けることに気づく」ことを目標とする。

これに基づいた指導<sup>13)</sup>をおこなうことで、より系統的で組織的な指導が期待される。

### 6.3 本研究の限界と今後の展望

本研究は、中学生 59 名を対象に調査問題を実施し、その結果を評価基準によって分類し、「動的平衡」についての思考の段階を検証した。ただし、調査人数、調査問題の種類といった「調査の規模」については範囲が限定されている。また、評価基準による分類といった「分析の手法」についても、授業を実施した教員の判断によって分類せざるを得ない場面があった。したがって、本研究によって得られた結論の一般化には限界がある。

今後、「動的平衡」概念の思考の段階を踏まえた具体的な教授方法の開発、実践、評価を継続的におこない、実践での活用を視野に入れた研究を継続したい。

#### 注

- 1) 田代 (2018) によると、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」といった「科学の基本的な概念」は、中教審では「見方」とも呼ばれていた。
- 2) 「1. パターン」「2. 原因と結果：メカニズムと説明」「3. スケール・比・量」「4. システムと

システムモデル」「5. エネルギーと物質：流れ・循環・保存」「6. 構造と機能」「7. 安定性と変化」が示され、それぞれがさらにいくつかの概念によって構成されている。「動的平衡」は「7. 安定性と変化」を説明する文章中に含まれている。

- 3) 1950 年代の科学について、「物理学や化学と共通の認識と用語で説明し、理解してゆくことが可能」(江上, 2003) になったとの見方があり、その「共通の認識と用語」の一例として、「動的平衡」が挙げられている。
- 4) 各種反応について記述する際は、その「速度」の他、「量」についても言及する必要があるが、通常、この「動的平衡」をはじめ「平衡」に関わる現象を記述する際は、「速度」のみを用いて説明されることがほとんどである。例えば、『栄養・生化学辞典』(野村, 2012) では「生体の中で合成と分解を繰り返している反応で、合成と分解が同じ速度で進んでいるため、一見変化が起きていないようにみえる状態」と説明がされている。また、『ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典』(ブリタニカ・ジャパン, 2014) では「正方向と逆方向の反応速度が等しくなったため、見かけ上は反応が停止したように見えること」と説明がされている。これらの「速度」が意味するところは、「一定時間内の反応量」であり、その結果、「量」の記述が見られないと考えられる。
- 5) 大森 (2016) などが挙げられる。
- 6) 鈴木・楠見 (2013) などが挙げられる。
- 7) 本論文では、「動的平衡」の下位概念と要素の関係を次のように整理した。「動的平衡」の下位概念とは、「2つの逆向きの作用」と「均衡」を指す。要素とは、「2つの逆向きの作用」と「均衡」という下位概念を構成している 2 つの「作用」を指す。例えば、水と水蒸気の関係においては、「液化する」「気化する」といった 2 つの要素が「逆向き」であり「均衡」している、という関係となる。
- 8) 2017 (平成 29) 年改訂の学習指導要領におい

では、「比較」「関係づけ」「条件制御」「多面的に考える」が「見方・考え方」の「見方」として提示されている。ただし、これらは領域横断的ではあるものの、「7つの横断的な概念」に示されているような「概念」とは質的に異なるものとして捉えることができる。「7つの横断的な概念」における「安定性と変化」「構造と機能」「エネルギーと物質」「システムとシステムモデル」などは、「概念」であり、現象を説明するために活用できる。一方、「比較」「関係づけ」「条件制御」「多面的に考える」は「見方」として示されているが、いずれも「動詞」として捉えることができ、操作的な面に重点がおかれている。この点で「7つの横断的な概念」とは質的に異なる。この相違を踏まえ、「科学の基本的な概念」ではなく、問題解決のためのスキルが着目されてきた（森，2020）」と考えた。

- 9) 段階を3つに分けたことについては、「近代の科学の方法の原則」(八杉,2007)を根拠とした。「近代の科学の方法の原則」とは、個々の自然現象を研究するための手順を示したものであり、「現象をまずその要素に分けて、個々に調べ、その上でそれらを組み合わせ」という段階的な記述となっている。この段階的な記述を「動的平衡」とその下位概念に適用した結果、(I)～(III)のような3つの段階となった。すなわち、「現象をまずその要素に分け」ることが(I)に対応し、「個々に調べ」ることが、(II)に対応し、「その上でそれらを組み合わせ」ることが、(III)に対応すると判断した。
- 10) 調査問題は、「生物」「地学」「化学」の3領域から構成されており、「物理」が含まれていない。これらの3領域を選択した理由は、小学校理科においては、物理領域に「動的平衡」と関わる内容がないためである。中学校理科の内容には、「動的平衡」で説明できる内容が含まれているため、義務教育の理科カリキュラムから捉えようと、「動的平衡」による領域横断がなされている。また、本研究においては、「動的平衡」を「複数の現象に対し共通の説明を可能にする概念」と

捉えていることから、4領域が揃っていることは必ずしも必要ではないと考えている。なお、小学校および中学校理科の各単元と「動的平衡」との関連についての詳細は、森（2020）に示されている。

- 11) 「湖の水面の高さが変化しない」という指導内容は、小学校6年生の理科教科書では、生物分野に含まれる。例えば、教育出版の小学校6年生の理科教科書（養老ら，2019）では、「生き物と食べ物、空気、水」単元中の「生き物と空気、水」という章単元で扱われている。
- 12) 要素と下位概念の区別については、注7参照。
- 13) 中学校での実践において、動的平衡のための数時間の特設単元を設けることは困難であるため、既存の指導計画に組み入れることが妥当と考える。「動的平衡」が複数の現象に対し、領域横断的な説明を可能にする概念であるため、スパイラル的な活用が望まれる。

#### 附記

本研究に関わる調査等については、日本体育大学研究倫理審査を経たうえで実施している。また、本研究はJSPS 科研費 19K02828 の助成を受けた研究成果の一部である。

#### 謝辞

本研究の調査にあたり、調査協力校の生徒の皆様および教職員の皆様の多大なる協力をいただいた。ここに記して、感謝の意を表する。

#### 引用文献

- Brandstätter, K., Harms, U., & Großschedl, J. (2012). Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices, *International Journal of Science Education*, 34(14), pp.2147-2170.
- Bransford, J. D. & Schwartz, D. L. (1999). Rethinking Transfer: A Simple Proposal with Multiple Implications, *Review of Research in Education*, 24, pp.61-100.
- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. (Ed.)

- (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*, Washington, DC: National Academy Press.
- ブリタニカ・ジャパン (2014)『ブリタニカ国際大百科事典 小項目事典 (電子版)』  
<https://japanknowledge.com/library/> (2020年2月29日閲覧)
- Day, S. B. & Goldstone, R. L. (2012). The Import of Knowledge Export: Connecting Findings and Theories of Transfer of Learning, *Educational Psychologist*, 47(3), pp.153-176.
- 江上信雄 (2003)「生物学」小学館編集部編『スーパー・ニッポニカ 2003 日本大百科全書+国語大辞典 DVD-ROM 版』小学館.
- Fick, S. J. (2018). What Does Three-Dimensional Teaching and Learning Look Like?: Examining the Potential for Crosscutting Concepts to Support the Development of Science Knowledge, *Science Education*, 102(1), pp.5-35.
- ガニエ, E. D.・赤堀侃司・岸学 (1989)『学習指導と認知心理学』パーソナルメディア. (Gagné, E. D.(1984) *Cognitive Psychology of School Learning*, HarperCollins, Australia.
- Goldstone, R. L. & Wilensky, U. (2008). Promoting Transfer by Grounding Complex Systems principles, *Journal of the Learning Sciences*, 17(4), pp.465-516.
- Hmelo-Silver, C. E., & Pfeffer, M. G. (2004). Comparing Expert and Novice Understanding of a Complex System from the Perspective of Structures, Behaviors, and Functions, *Cognitive Science*, 28(1), pp.127-138.
- Jacobson, M. J., & Wilensky, U. (2006). Complex Systems in Education: Scientific and Educational Importance and Implications for the Learning Sciences, *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), pp.11-34.
- Maskill, R. & Cachapuz, A. F. C. (1989). Learning about the Chemistry Topic of Equilibrium: The Use of Word Association Tests to Detect Developing Conceptualizations, *International Journal of Science Education*, 11(1), pp.57-69.
- 皆川順 (1997)「理科の概念学習における概念地図完成法の効果に関する研究」『教育心理学研究』45(4), pp.464-473.
- 文部科学省 (2008)『小学校学習指導要領解説 理科編』大日本図書.
- 文部科学省 (2009)『中学校学習指導要領解説 理科編』大日本図書.
- 文部科学省 (2018a)『小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 理科編』東洋館出版社.
- 文部科学省 (2018b)『中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 理科編』大日本図書.
- 森健一郎 (2020)「理科カリキュラム開発の視点としての領域横断的な科学概念—「動的平衡」概念に着目して—」『日本教科教育学会誌』43(3), pp.73-85.
- National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education*, National Academies Press.
- 野村忠 (2012)『栄養・生化学辞典 第3版』朝倉書店, p.442.
- 大森肇 (2016)「運動時の代謝と臓器連関」『日本体育学会大会予稿集』67, p.51.
- Sarah J. F., Jeffrey N., & Kevin W. M. (2019a). The Need for a Summit for Examining the Potential for Crosscutting Concepts to Support Three-Dimensional Science Learning, In Sarah J. Fick, Jeffrey Nordine, Kevin W. McElhaney (Ed.), *Summit for Examining the Potential for Crosscutting Concepts to Support Three-Dimensional Learning Conference Proceedings* (pp.4-11), The Rector and Visitors of the University of Virginia.
- Sarah J F., Lauren B., Ann R., Melanie C., Jason B., & Aneesha B. (2019b). Supporting Students' Learning of Science Content and Practices Through the Intentional Incorporation and Scaffolding of Crosscutting Concepts. *ibid.* (pp.13-26).
- Schwartz, D. L., & Goldstone, R. (2016). Learning as Coordination: Cognitive Psychology and Education. In Lyn C., & Eric M. A. (Ed.), *Handbook of Educational Psychology (Third edition)* (pp.61-65),

Taylor & Francis Group.

鈴木健一・楠見明弘 (2013)「新ラフト仮説：細胞膜ラフトによるシグナル伝達機構」『生物物理』 53(6), pp.295-300.

Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985). The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra. *Cognition and Instruction*, 2(1), pp.59-89.

田代直幸 (2018)「平成 29 年版学習指導要領の特徴」『生物教育』 59(3), pp.180-186.

八杉龍一 (2007)『新版 科学とは何か』東京教学社, pp.43-45.

養老孟司・角屋重樹・丸山重徳ほか (2019)『未来を拓く小学理科 6 年生用』教育出版, pp.98-99.